

文章编号: 1004-4353(2021)03-0255-05

# 基于 Petri 网的高校网上预约报销系统的建模与优化

方新升<sup>1</sup>, 刘祥伟<sup>2\*</sup>

(1. 安徽理工大学 数学与大数据学院; 2. 安徽理工大学 经济与管理学院: 安徽 淮南 232001)

**摘要:** 针对高校网上预约报销系统存在的排队问题,建立了一种基于 Petri 网的高校网上预约报销系统的优化模型. 首先对高校网上预约报销系统的基本流程进行了建模分析,然后结合实际情况和活动间的基本行为轮廓关系建立了高校网上预约的整体模型,并通过对整体模型的分析对整体模型进行了优化. 最后使用 PIPE 和 Tina 软件对所提出的优化模型进行了测试,结果表明模型是安全有界的. 本文研究结果可为提高高校报销效率提供参考.

**关键词:** Petri 网; 行为轮廓; 变迁规则; 优化模型; 预约报销系统

**中图分类号:** TP391.9

**文献标识码:** A

## Modeling and optimization of online appointment reimbursement system in colleges based on Petri net

FANG Xinsheng<sup>1</sup>, LIU Xiangwei<sup>2\*</sup>

(1. School of Mathematics and Big Data, Anhui University of Science and Technology; 2. School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology: Huainan 232001, China)

**Abstract:** Aiming at the queuing problem in the online reservation reimbursement system of colleges, an optimization model of the online reservation reimbursement system for colleges based on Petri net was established. Firstly, the basic process of online reservation reimbursement system for colleges was modeled and analyzed, and then the overall model of online reservation for colleges was established based on the actual situation and the basic behavior profile relationship between activities and the overall model was optimized through the analysis of the overall model. Finally, PIPE and Tina software are used to test the proposed optimization model, and the results show that the model is safe and bounded. The research results of this paper can provide reference for improving the reimbursement efficiency of colleges.

**Keywords:** Petri net; behavior profile; transition rule; optimization model; reservation reimbursement system

## 0 引言

Petri 网由于可以用图形化的方式描述业务流程中的每一个活动,使人们可以直观地发现流程中所存在的问题,因此它在众多领域中得到应用. 例如:文献[1]使用 Petri 网对云制造的相关流程进行了建模分析,并通过实例证明了该模型的有效性;文献[2]提出了一种将分布式锁与 Petri 网结合的方法,该

收稿日期: 2021-05-20

基金项目: 国家自然科学基金(61572035,61402011)

\* 通信作者: 刘祥伟(1977—),女,教授,研究方向为业务流程管理等.

方法可以简化锁的管理过程;文献[3]针对入侵检测流程,提出了一种将面向对象和 Petri 网相结合的检测方法,并通过实验证明了该方法可以有效降低检测的误警率;文献[4]提出了一种具有优先权 Petri 网模型,并通过实例证明了该模型具有实时处理新数据的能力;文献[5]提出了一种将离散 Petri 网和连续 Petri 网相结合的 Petri 网,并通过对比模型间的误差变化验证了该模型的合理性;文献[6]提出了一种分布式模糊推理 Petri 网,并通过仿真实验证明了该 Petri 网可显著降低系统的负载;文献[7]针对行为等价的不恰当性,提出了一种基于行为轮廓的一致性对齐概念,并通过推导和计算证明了一致性在模型对齐中的作用.近年来,随着计算机网络技术的不断发展,国内大部分高校的财务部门已开始使用网上预约报销系统进行报账.为了提高高校财务部门网上预约的报账效率,一些学者对其进行了研究,如章杰文等<sup>[8]</sup>使用作业成本法设计了一种高校网上预约报销系统,但目前还未见采用 Petri 网对其进行研究的文献报道.为此,本文基于高校网上预约整体流程的排队问题,利用 Petri 网和活动间的行为轮廓关系,提出一种高校网上预约报销系统的优化模型,并通过 PIPE 和 Tina 软件对优化模型的合理性进行了验证.

## 1 基本概念

**定义 1**<sup>[9]</sup> 满足下列条件的三元组  $N = (S, T; F)$  称作一个网: ①  $S \cup T \neq \emptyset$ ; ②  $S \cap T = \emptyset$ ; ③  $F \subseteq (S \times T) \cup (T \times S)$ ; ④  $\text{dom}(F) \cup \text{cod}(F) = S \cup T$ . 其中:  $\text{dom}(F) = \{x \in S \cup T \mid \exists y \in S \cup T: (x, y) \in F\}$ ,  $\text{cod}(F) = \{x \in S \cup T \mid \exists y \in S \cup T: (y, x) \in F\}$ .

**定义 2**<sup>[9]</sup> 设  $\Sigma = (S, T; F, M)$  为一个 Petri 网. 如果存在  $t \in T$ , 使  $M[t > M']$ , 则称  $M'$  为从  $M$  直接可达的. 如果存在变迁序列  $t_1, t_2, \dots, t_k$  和标识序列  $M_1, M_2, \dots, M_k$  使得  $M[t_1 > M_1[t_2 > M_2 \dots M_{k-1}[t_k > M_k]$  则称  $M_k$  为从  $M$  可达的. 从  $M$  可达的一切标识的集合记为  $R(M)$ , 并约定  $M \in R(M)$ .

**定义 3**<sup>[9]</sup> 一个网系统是一个标识网  $\Sigma = (S, T; F, M)$ , 并具有如下变迁发生规则:

- 1) 对于变迁  $t \in T$ , 如果  $\forall s \in S: s \in \cdot t \rightarrow M(s) \geq 1$  则变迁  $t$  在标识  $M$  有发生权, 记为  $M[t >$ .
- 2) 若  $M[t >$ , 则在标识  $M$  下, 变迁  $t$  可以发生. 从标识  $M$  发生变迁  $t$  得到一个新的标识  $M'$  (记为

$$M[t > M'], \text{ 对 } \forall s \in S, M'(s) = \begin{cases} M(s) - 1, & \text{若 } s \in \cdot t - t \cdot; \\ M(s) + 1, & \text{若 } s \in t \cdot - \cdot; \\ M(s), & \text{其他.} \end{cases}$$

**定义 4**<sup>[10]</sup> 设  $(N, M_0)$  是一个 Petri 网, 其初始标识为  $M_0$ , 且对任意的  $(t_1, t_2) \in (T \times T)$  该 Petri 网满足如下关系:

- 1) 若  $t_1 > t_2$  且  $t_2 \not> t_1$ , 则称  $t_1$  和  $t_2$  为严格序关系, 记作  $t_1 \rightarrow t_2$ ;
- 2) 若  $t_1 \not> t_2$  且  $t_2 > t_1$ , 则称  $t_1$  和  $t_2$  为严格逆序关系, 记作  $t_1 \rightarrow^{-1} t_2$ ;
- 3) 若  $t_1 \not> t_2$  且  $t_2 \not> t_1$ , 则称  $t_1$  和  $t_2$  为排他序关系, 记作  $t_1 + t_2$ ;
- 4) 若  $t_1 > t_2$  且  $t_2 > t_1$ , 则称  $t_1$  和  $t_2$  为交叉序关系, 记作  $t_1 || t_2$ ;
- 5) 将所有关系的集合称为行为轮廓, 记作  $BP = \{\rightarrow, \rightarrow^{-1}, +, ||\}$ .

## 2 基于 Petri 网的网上预约报销系统的优化分析

高校网上预约报销的基本流程包含以下活动: 选择报销模板并填写( $t_1$ )、登录预约报销系统( $t_2$ )、填写基本信息( $t_3$ )、选择报销类型(日常报销、科研入账等,  $t_4$ )、在线排队( $t_5$ )、获取排队号码( $t_6$ )、名额已满( $t_7$ )、报销( $t_8$ )等. 其中: 从选择报销模板并填写到在线排队为顺序关系, 即变迁序列( $t_1 t_2 t_3 t_4 t_5$ )依次发生; 当排队名额未满足时分配一个排队号码, 当名额已满时返回到  $s_3$ , 即获取排队号码和名额已满

是排他关系( $t_6 + t_7$ );当获得排队号码后,报销( $t_8$ )发生,即完成报销流程.高校网上预约报销系统的基本 Petri 网模型如图 1 所示.

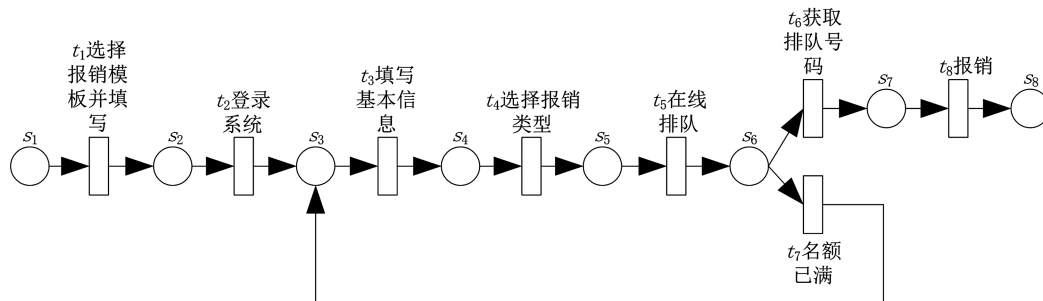


图1 高校网上预约报销系统的基本 Petri 网模型

由于高校网上预约报销整体模型(下文简称“整体模型”)是在高校网上预约报销系统基本模型(下文简称“基本模型”)上扩展得到的,因此整体模型比基本模型更为详细和具体.图 2 为某高校的整体报销模型.由图 2 可以看出,整体模型与基本模型的区别有以下几点:① 整体模型将登录系统操作细分为新用户注册登录( $t_2$ )和老用户直接登录( $t_3$ ),两者是一种排他关系,即( $t_2 + t_3$ ).② 根据财务处工作人员的工作时间,整体模型给每个报销人员分配了一个报销时段,当分配的时段超出财务处工作人员的工作时间( $t_{10}$ )时则需要报销人员在第 2 天重新排队,即返回到  $s_3$ ;当分配的时段未超出财务处工作人员的工作时间( $t_9$ )时则可继续执行下一个活动,进入等待叫号( $t_{11}$ )的状态.③ 针对报销人员能否在指定的时段内到达报销地点的问题,整体模型将其分为 2 种情况:如果报销人员未在分配时段内抵达( $t_{13}$ )报销地点时,则需要报销人员在第 2 天重新排队,即返回到  $s_3$ ;如果报销人员在分配时段内抵达( $t_{12}$ )报销地点时,则正常进入下一步骤.

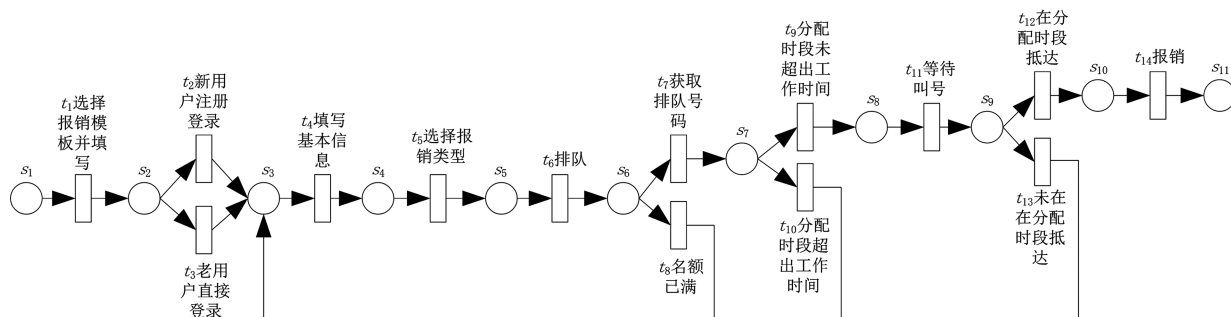


图2 某高校网上预约报销系统的整体 Petri 网模型

由以上整体模型可知,该流程中存在以下问题:① 整体模型没有限制报销人员获取号码的次数,即一名报销人员可以多次获取号码,这可能会导致出现恶意获取号码的情况,进而会使得其他报销人员无法正常获取号码.② 整体模型没有考虑到当天排队人数过少的情况,不利于提高财务部门的报账效率.③ 整体模型没有考虑到排队号码靠后的报销人员的报销问题,因此排队号码靠后的报销人员可能会因为报销时段超出工作人员的工作时间而导致号码作废,进而使得报销人员需要在第 2 天重新排队获取号码.

根据整体模型中存在的问题,本文结合活动间的行为轮廓关系提出了高校网上预约报销系统的优化模型(下文简称“优化模型”),如图 3 所示.本文提出的优化模型主要从以下几个方面对整体模型进行优化:① 为了避免恶意获取号码现象的发生,添加了报销记录检测( $t_6$ ),即如果报销人员近两日内无报销完成记录则进入正常的排队状态( $t_8$ ),如果报销人员两日内有报销完成记录( $t_{19}$ )则进入下一个检测环节.② 为保证不出现当天报销人数过少而降低报账效率的情况,添加了今日排队人数的检测( $t_{20}$ ),即

如果当日的排队人数大于给定阈值时则无法进入排队状态,如果当日的排队人数小于阈值时则为有记录的报销人员分配靠后的号码( $t_{23}$ ). ③ 为了保证排队号码靠后的报销人员能够顺利地完报销,为分配报销时段超出财务处工作时间的报销人员分配一个第 2 天前 20 位的号码( $t_{13}$ ).

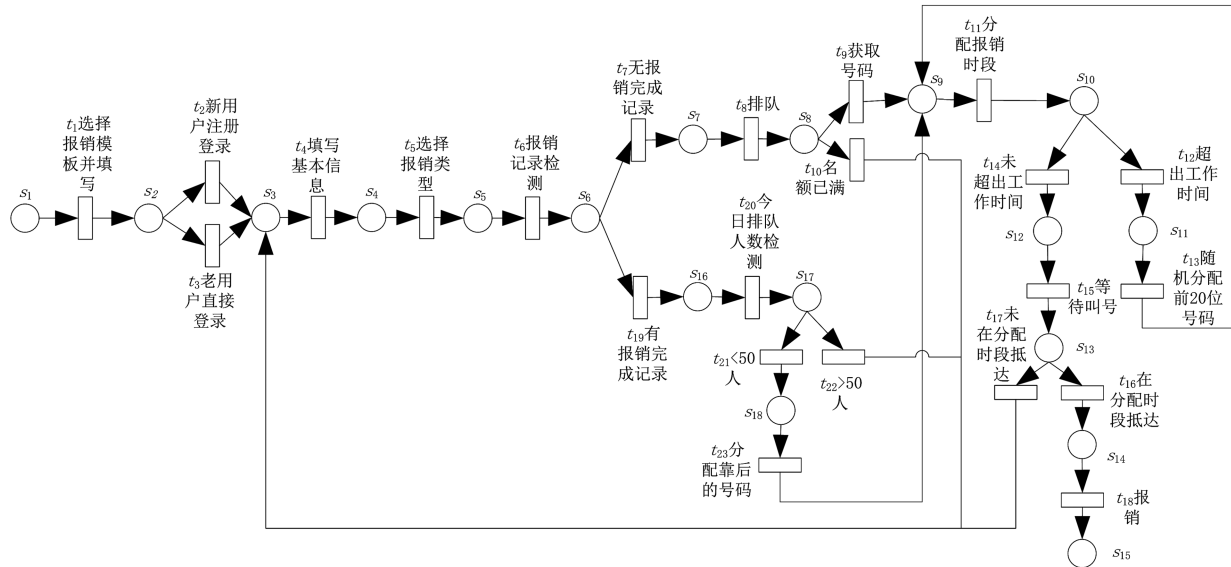


图 3 高校网上预约报销系统的优化 Petri 网模型

### 3 优化模型的仿真模拟

为了验证优化模型的可达性和合理性,本文采用 PIPE 和 Tina 软件对优化模型进行模拟仿真实验. PIPE 软件是一种基于 JAVA 环境的仿真软件,能够检测 Petri 网模型的安全性、活性、死锁等问题. Tina 软件是一种偏向于时间 Petri 网的测试软件,能够分析不同时刻时的模型状态. 本文测试主要是通过添加一个 token 的方式来测试优化模型是否可以正常运行以及能否达到预期的效果. 图 4 是基于 PIPE 软件的优化模型的状态分析测试结果,图 5 是基于 Tina 软件的优化模型的状态分析测试结果,图 6 是基于 Tina 软件的优化模型的结构分析测试结果. 由图 4—图 6 可以看出,优化后的模型是有界、安全的.

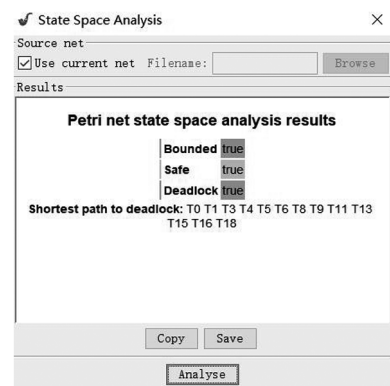


图 4 基于 PIPE 软件的优化模型的状态分析测试结果

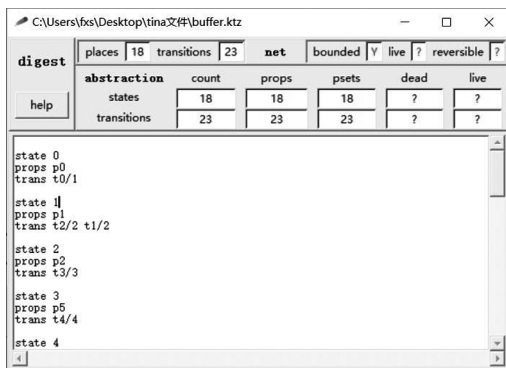


图 5 基于 Tina 软件的优化模型的状态分析测试结果

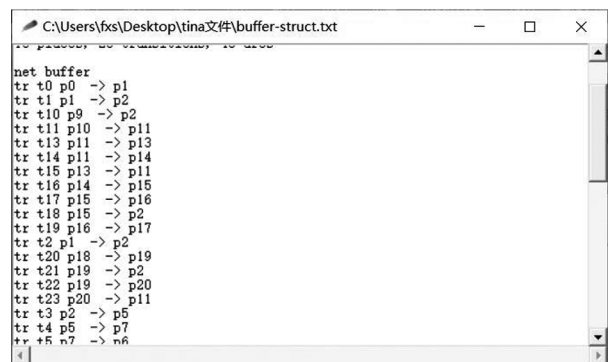


图 6 基于 Tina 软件的优化模型的结构分析测试结果

## 4 结语

本文基于 Petri 网和行为轮廓关系对高校网上预约报销流程进行了建模和优化. 实验表明,本文提出的优化模型不仅可以保证每一名报销人员都能够顺利地完 成报销,而且还可以提高财务部门的工作效率,同时在报账过程中可以避免报销人员恶意多次获取号码的现象发生. 由于本文只是从模型的角度对预约报销流程进行优化,所以该优化模型存在一定的局限性,今后我们将结合更多的实际情况对流程做更进一步的分析和优化.

## 参考文献:

- [1] 王标,胡强. 基于 Petri 网建模的云制造流程业务兼容性检测[J]. 电子技术,2017,46(4):48-51.
- [2] 金红琳,刘波. 分布式锁的 Petri 网建模及死锁检测[J]. 计算机科学,2011,38(8):49-52.
- [3] 李勇,王文奇,史豪斌. 针对入侵检测分析的 Petri 网建模技术研究[J]. 计算机应用与软件,2015,32(11):301-304.
- [4] 严顺,方贤文,刘祥伟. 优先权 Petri 网在电梯运行控制中的应用[J]. 延边大学学报(自然科学版),2017,43(3):242-246.
- [5] 王列伟,吴朔,胡俊华. 基于 Petri 网的道路交叉口建模方法及比较研究[J]. 计算机工程与应用,2018,54(14):211-216.
- [6] 叶剑,李锦涛,朱珍民,等. 面向普适计算的分布式模糊推理 Petri 网建模及仿真[J]. 系统仿真学报,2011,23(7):1329-1335.
- [7] WEIDLICH M, MENDLING J, WESKE M. Efficient consistency measurement based on behavioral profiles of process models[J]. IEEE T Software Eng, 2011,37(3):410-429.
- [8] 章杰文,姚俊生,袁仁森. 作业成本法在高校网上预约报销系统的应用研究[J]. 商业会计,2021(4):106-110.
- [9] 吴哲辉. Petri 网理论[M]. 北京:机械工业出版社,2006:6-42.
- [10] 方贤文. Petri 网行为轮廓理论及其应用[M]. 上海:上海交通大学出版社,2017:1-16.

(上接第 242 页)

- [3] 刘鹏,陈启宏,全书海,等. 基于电流双环控制的燃料电池 DC/DC 变换器[J]. 电源技术,2020,44(12):1818-1821.
- [4] 黄远胜,刘和平,苗轶如,等. 基于并联虚拟电阻的级联 DC-DC 变换器稳定控制方法[J]. 电工技术学报,2020,35(18):3927-3937.
- [5] 高本友,张卫平,张晓强. 基于 Buck 电路的双闭环控制系统设计的仿真研究[J]. 电子世界,2017(3):125-127.
- [6] 杨航,刘凌,阎治安,等. 双闭环 Buck 变换器系统模糊 PID 控制[J]. 西安交通大学学报,2016,50(4):35-40.
- [7] 金爱娟,郝陈祥,马忠雪,等. 并联 Buck 变换器的均流控制技术[J]. 电子科技,2016,29(1):87-90.
- [8] 蒋丛让. 并联 Buck 变换器均流控制算法研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2019.
- [9] 张伟,葛飞,邓孝祥. 交错 Buck 并联均流技术的研究[J]. 黑龙江电力,2020,42(5):410-415.
- [10] REVATHI B S, MAHALINGAM P, GONZALEZ-LONGATT F. Interleaved high gain DC-DC converter for integrating solar PV source to DC bus[J]. Solar Energy, 2019,188:924-934.
- [11] 韩猛,张元科,孙贺,等. 基于 Buck 变换器的并联均流系统研究[J]. 电动工具,2019(4):4-7.
- [12] 刘金晶,葛艳华,毕洪大,等. 车载储能系统中并联 DC-DC 变换器的研制[J]. 电力电子技术,2020,54(7):121-123.
- [13] LEYVA-RAMOS J, MOTAVARONA R, ORTIA-LOPEZ M G, et al. Control strategy of a quadratic boost converter with voltage multiplier cell for high-voltage gain[J]. IEEE J Emerg Select Topics Power Electron, 2017,5(4):1761-1770.